18. Účinky ionizujícího záření na lidský organismus

Nestochastické (deterministické) účinky záření jsou ve své podstatě neovlivnitelné, např. výbuch atomové pumy, havarijní ozáření při práci s nějakým zdrojem záření, nezvládnutá radioterapie, aj..
Stochastické účinky jsou náhodné, a můžeme se proti nim nějak chránit (stíněním, čas pobytu, apod.)

Účinky záření na lidský organismus

Přehled hlavních typů účinků záření u člověka jsou shrnuty v následující tabulce.

Časné	**Pozdní**		
Somatické			Genetické
• akutní nemoc z ozáření • akutní lokální změny • akutní radiodermatitis • poškození fertility	• nenádorová pozdní poškození • chronická radiodermatitis • zákal oční čočky	• zhoubné nádory	• genetické účinky u potomstva
poškození vývoje plodu			
nestochastické		**stochastické**	

Mezi nestochastické účinky patří:

Akutní nemoc z ozáření při celotělovém ozáření vysokými dávkami (poruchy krvetvorby, trávicího ústrojí nebo CNS).
Nemoc se projevuje při ozáření ekvivalentní dávkou cca **2 Sv**, prahová hodnota je **1 Sv**.

Projevy nemoci z ozáření:

1. fáze: **nevolnost, skleslost, bolesti hlavy, změny v krevním obraze**
2. fáze: **období latence**
3. fáze: **rozvinutí počátečních příznaků, padání vlasů, vnitřní krvácení, náchylnost k infekcím**

Ozáření dávkou vyšší než 50 Sv

- neurologická forma nemoci **(psychická dezorientovanost, zmatenost, křeče, bezvědomí, smrt během několika hodin či dní)**
- lokální akutní poškození kůže **(radiační dermatitida)**
  (prahová dávka 3 Sv, nejčastější typ při nehodách se zdroji záření)

  zarudnutí kůže → hlubší poškození kožní tkáně → vznik vředů
- poškození plodu **(prahová dávka 0,05 Sv)**
- poruchy plodnosti, u mužů je prahová dávka 0,1 – 1 Sv, u žen min. 1,5 Sv
- zákal oční čočky **(prahová dávka 1,5-2 Sv)**

Stochastické účinky (náhodné)

- jsou důsledkem poškození malého počtu buněk (stačí jen jediné).
- mohou se projevit při jednorázovém ozáření podprahovou dávkou z hlediska nestochastických účinků nebo při chronickém ozařování určité tkáně nebo celého těla malými dávkami.
- podprahové dávky nevyvolávají v krátké době po ozáření žádné klinicky pozorovatelné příznaky.
- poškození, ale mohou způsobit s jistou pravděpodobností poškození za delší dobu.
- stochastické účinky ozáření se projevují za delší dobu po léčbě nádorů ozařováním.

Projevy:

- nádorová onemocnění (latentní období 10-40 let)
- leukémie (latentní období 5-20 let)
- genetické poškození další generace

- na základě stochastických účinků se definuje absolutní roční riziko jako pravděpodobnost výskytu určitého onemocnění u jedné osoby během jednoho roku při ozáření ekvivalentní dávkou **1 Sv**.

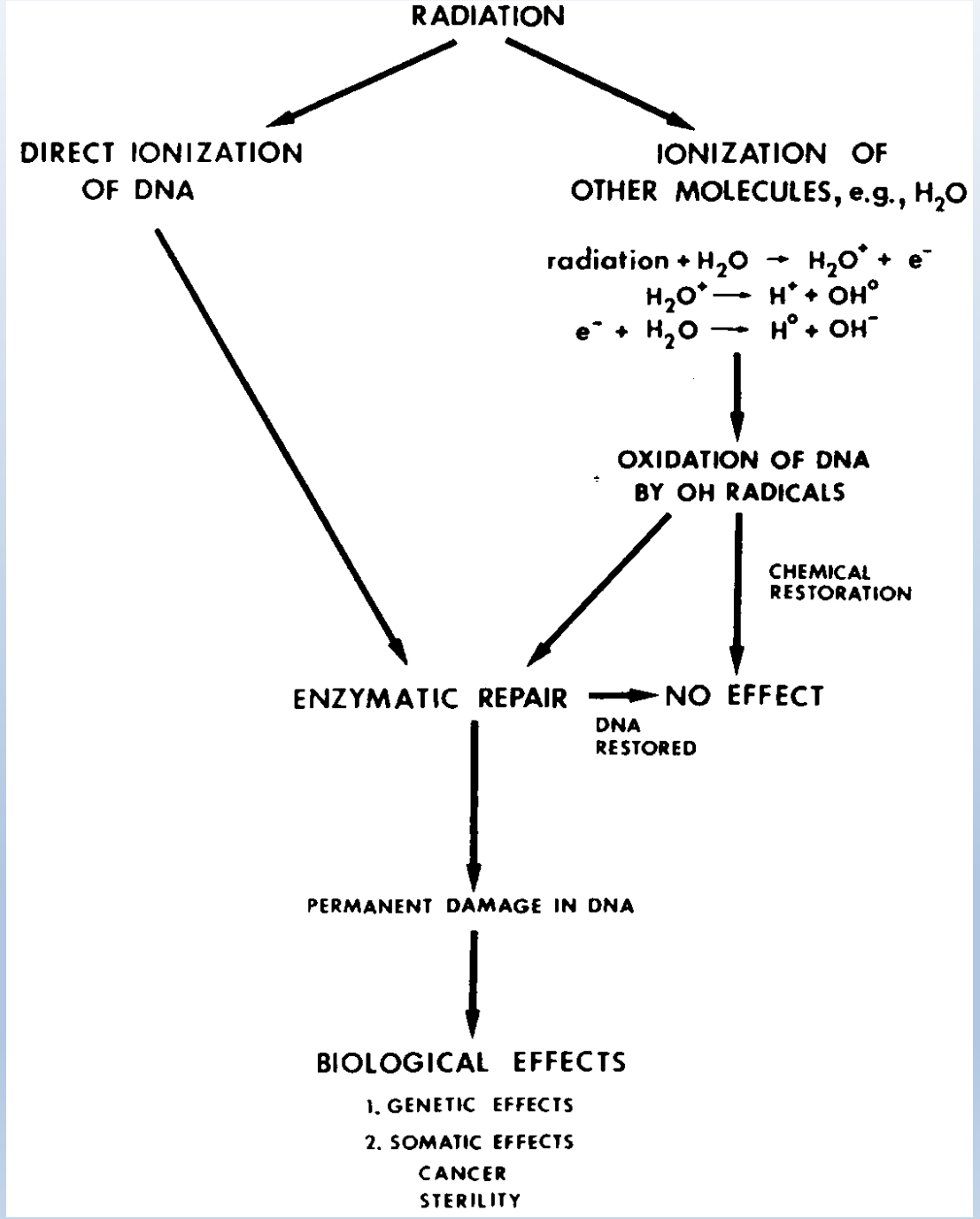
- při ozáření malými dávkami se předpokládá tzv. konzervativní přístup, který předpokládá, že stochastické účinky mohou být způsobeny i mutací jediné buňky (tj. bezprahový přístup)

- při odhadování rizika malých dávek se počet případů poškození stanovuje lineární extrapolací podle absolutního ročního rizika

Př. skupina 10^6 ozářených osob:

dávka (Sv)	**počet případů (nad přirozený výskyt po uplynutí doby latence)**
1	57
0,01	0,57

Sled událostí v živé tkáni po ozáření



Příklady některých expozic ionizujícímu záření včetně limitů platných v ČR

Jednotky : µSv

1000 µSv = 1 mSv

Expozice (micro sievert - µSv)

200 000

100 000

50 000

10 000

1 000

500

100

50

10

200 000 µSv/rok
Limit pro zasahující osoby
(osobní dávkový ekvivalent)

100 000 µSv/5 let
20 000 µSv/rok
Limity pro radiační pracovníky

6 900 µSv/tomografie
CT - snímek hrudníku

1 000 µSv/rok
Limit ozáření obyvatelstva
(mimo lékařské ozáření a ozáření z přírodních zdrojů)

46 µSv/rok - JE Dukovany
43 µSv/rok - JE Temelín
Autorizovaný limit pro ozáření z výpustí jaderných elektráren

20 µSv/snímek
RTG snímek hrudníku

cca. 10 000 µSv/rok
Pláže Guarapari, Brazílie

3 200 µSv/rok
Přírodní ozáření na osobu za rok v ČR

Vesmír 400
Potraviny 300
Země 500
Radon (ve vzduchu) 2 000

600 µSv/vyšetření
RTG skiaskopické vyšetření břicha

cca 200 µSv/let
Let Tokyo - New York - Tokyo
(expozice je různá pro různé výšky letu)

0,14 µSv/h
Průměrný dávkový příkon (ČR)

Hormeze

Projevuje se jako stimulující účinky malých dávek záření.

- zvýšená fixace dusíku bakteriemi
- urychlení klíčení semen
- rychlejší vzcházení rostlin a rychlejší růst
- u lidí pak jde o léčivé účinky radioaktivních koupelí v lázních (zmírnění revmatických onemocnění, zpomalení degenerativních změn obratlů, vliv na metabolismus atd.)

Léčebné a diagnostické účinky ionizujícího záření

Teleterapie (dálkové ozařování)

- kobaltové zářiče (^{60}Co, ~ 10^{13}-10^{15} Bq)
- **brzdné záření** z betatronu 4-25 MeV
- cesiové zářiče (pro nádory do 5 cm pod povrchem)
- **lineární urychlovač** (elektrony 7-20 MeV, pro nádory v malých hloubkách)

Kontaktní terapie

na povrch těla nebo těsně pod něj se přikládá plošný β-zářič

Brachyterapie (vnitřní ozařování)

zářič (ve formě drátků, perliček apod.) se zavádí tělesnými dutinami do těsného kontaktu s nádorovým ložiskem

Endoterapie

metoda je založená na vpravování nuklidu do tkáně (injekčně např. do kloubních pouzder, nebo metabolickými pochody – jod od štítné žlázy)

Radioimunoterapie

radionuklid se naváže na monoklonální protilátku nebo receptorový ligand, který se selektivně v těle váže na specifický antigen nebo receptor v nádorových buňkách. Vysoká specificita cílové tkáně pro značenou protilátku je nadějná pro léčení disseminovaných (roztroušených) metastáz. Ozařování se zpravidla provádí frakcionovaně po 2 Gy, max. celková dávka bývá 50-60 Gy

Borová terapie

pacientovi se podá sloučenina obsahující bor (např. $Na_2B_{12}H_{11}SH$), která se metabolickými procesy selektivně koncentruje v nádorové tkáni. Nádor se pak ozáří pomalými neutrony **$^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$**. Částice α i ionty ^{7}Li pak ničí okolní nádorovou tkáň díky vysoké lineární ionizaci.

Pozitronová emisní tomografie (PET)

Metoda je založena na reakci pozitronů s hmotou, kdy anihilací vznikají **dva gama fotony** a o energii 0,51 MeV. Po svém vzniku se oba gama fotony od daného místa anihilace vzdalují v úhlu 180 a jsou registrovány odpovídajícími detektory.

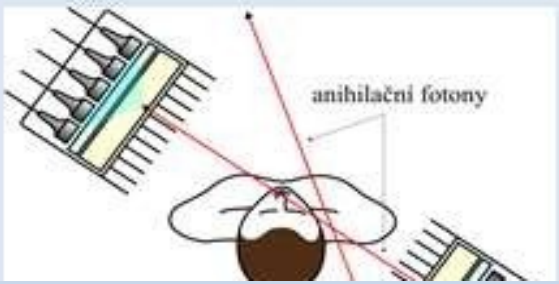
- Jako radiofarmakum se nejčastěji používá **^{18}F-glukóza = ^{18}F-FDG**, **^{18}F je pozitronický zářič, poločas přeměny méně než 2 hodiny.**
- Metoda spočívá v tom, že nádory a metastázy přednostně po aplikaci radiofarmaka vychytávají tuto glukózu. Pozitronický zářič v nádoru či metastáze se přeměňuje s poločasem přeměny necelé 2 hodiny za vzniku **2 kvant gama**, která se registrují. Měření je schopno dodat informace o umístění nádoru, jeho velikosti apod.
- Značená glukóza se zpravidla vyrábí automatickými metodami v místě blízko spotřeby, což je příslušný přístroj pro PET.
- **Dnes se PET často kombinuje s CT nebo MR.**
- ^{18} F se získává v lokálním cyklotronu v MOÚ na Žlutém kopci v Brně.

PET – pozitronová emisní tomografie

[^{18}F]fluoro-2-deoxy-D-glukóza

$^{18}_{9}F \rightarrow {}^{18}_{8}O + e^{+} + \nu_e$

$e^{+} + e^{-} \rightarrow 2\gamma$ (2 x 0,511 MeV)



Výroba [^{18}F]fluoro-2-deoxy-D-glukózy v MOÚ v Brně

Linka na výrobu ^{18}F značené glukózy v MOÚ, Brno

Účinky ionizujícího záření na hmyz

- hmyz je vůči působení ionizujícího záření více než 100x odolnější než obratlovci
- ozáření hmyzu vede buď ke sterilizaci hmyzu nebo k jeho usmrcení
- Hubení hmyzu v přírodě může být také realizováno ve vypěstování a vypouštění sterilních samečků v množství, které převyšuje jejich přirozený výskyt

Potemník (při ochraně skladovaného obilí)	100 Gy	sterilizace
	5.10^3 Gy	usmrcení

Dřevokazný hmyz (červotoči, tesaříci)	500 Gy	usmrcení

Účinky ionizujícího záření na mikroorganismy (radiační sterilizace)

- zdravotnický materiál
- dezinfekce kalů z odpadních vod
- radiační ošetření potravin (prodloužení doby jejich trvanlivosti – potraviny se ozařují zmražené)

Účinky ionizujícího záření na rostliny

- ozařování semen vede k užitečným mutacím (radiační šlechtění)
- ozáření vede k omezení klíčivosti (např. u brambor)